



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Inovace buňky výrobního procesu agregátu automobilového podvozku

Bakalářská práce

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
Autor práce: **Jaroslav Kučera**
Vedoucí práce: Ing. Jan Koprnický, Ph.D.
Konzultant: Ing. Jan Chládek





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechatronics, Informatics
and Interdisciplinary Studies ■

Cell Innovation of Manufacturing Process of Aggregate Palette

Bachelor thesis

Study programme: B2612 – Electrical Engineering and Informatics
Study branch: 2612R011 – Electronic Information and Control Systems
Author: **Jaroslav Kučera**
Supervisor: Ing. Jan Koprnický, Ph.D.
Consultant: Ing. Jan Chládek





Zadání bakalářské práce

Inovace buňky výrobního procesu agregátu automobilového podvozku

Jméno a příjmení: **Jaroslav Kučera**
Osobní číslo: M16000080
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektronické informační a řídicí systémy
Zadávací katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte současný stav výrobního pracoviště.
2. Navrhněte řešení automatizace procesu.
3. Zhodnoťte a vyberte nejlepší variantu.
4. Porovnejte vybranou variantu se současným stavem.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

- [1] KUČERA, Jaroslav. Automatické zakládání šroubů na agregátovou paletu. Liberec, 2018. Ročníkový projekt. Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií Technické univerzity v Liberci.
- [2] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Konstrukce robotů. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-216-7.
- [3] SKAŘUPA, Jiří. Roboty a manipulátory: učební text. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2613-4.
- [4] ŠKRDLA, M. Optimalizace pracoviště montáže v předvýrobě za použití principů štihlé výroby. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

Vedoucí práce: Ing. Jan Koprnický, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky
Konzultant práce: Ing. Jan Chládek
Škoda Auto a.s.
Datum zadání práce: 10. října 2018
Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2019

L. S.

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci 10. října 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Abstrakt

Tato práce se zabývá automatizací jednoho výrobního taktu na výrobní lince ve Škoda Auto a. s. Práce se zabývá analýzou aktuálního stavu výrobního taktu a možnostmi automatizace.

Výstupem zprávy je výběr několika vhodných řešení a jejich následné srovnání z hlediska praktičnosti, úspory místa, pořizovacích nákladů nebo návratnosti investice.

Klíčová slova: Průmyslový robot, automatizace, montážní linka, výrobní celek

Abstract

Main objective of this thesis is the automation of one production cycle on the production line in Škoda Auto a. s. The thesis deals with analysis of the recent state of the production cycle and the possibilities of automation.

Output of this report is a selection of a number of suitable solutions and their comparison based on their practicality, space saving, acquisition costs or return of investments

Keywords: Industry robot, automation, assembly line, production unit

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mě podporovali při tvorbě této práce. Poděkování patří hlavně vedoucímu práce, panu Ing. Janu Koprnickému Ph.D. a konzultantovi ve Škoda Auto panu Ing. Janu Chládkovi.

Obsah

Seznam zkratk	11
1 Úvod	12
2 Výrobní celek	13
2.1 Stacionární výroba	14
2.2 Nestacionární výroba	15
2.3 Předmontáže	16
3 Metody návrhu a měření času výrobního procesu	18
3.1 Chronometráž	18
3.2 Počítačová simulace procesu	19
3.3 MTM (Methods Time Measurement)	19
3.4 MOST (Maynard Operation Sequence Technique)	21
4 Průmysloví roboti	22
4.1 Přímá konstrukce	22
4.1.1 Kartézský robot	22
4.1.2 Robot cylindrické konstrukce	23
4.1.3 Robot sférické konstrukce	23
4.1.4 Angulární robot	24
4.2 Paralelní konstrukce	24
5 Současný stav výroby ve Škoda Auto	26
5.1 Montážní linka	26
5.1.1 Hlavní montáž	26
5.1.2 Předmontáže	27
5.2 Pracoviště	29
5.2.1 Rozložení pracoviště	29
5.2.2 Činnosti operátora výroby	30
6 Návrh řešení	31
6.1 Robot zavěšený na portálové konstrukci	32
6.2 Robot vně/uvnitř zákrutu linky	35
6.3 Kartézský robot	37
7 Srovnání řešení	39

8 Závěr	41
Použitá literatura	43

Seznam obrázků

2.1	Uspořádání soustředěné výroby	14
2.2	Uspořádání rozčleněné výroby	15
2.3	Uspořádání výroby s volným pohybem výrobních celků	15
2.4	Uspořádání výroby s nuceným pohybem výrobních celků	16
3.1	Ukázka ze softwaru Siemens [5]	19
4.1	Kartézský robot od společnosti Lexium [9]	23
4.2	SCARA robot od společnosti FANUC [10]	23
4.3	Přehled angulárních robotů KUKA [11]	24
4.4	Delta robot ABB [12]	25
5.1	Fotografie montáže v hale M13 [19]	26
5.2	Principiální rozložení haly M13	27
5.3	Fotografie vozíku s agregátovou paletou	28
5.4	Layout pracoviště zakládání šroubů	29
6.1	Robot KR 30 JET na portálové konstrukci s pojezdem [20]	33
6.2	Layout s návrhem umístění portálové konstrukce s robotem	34
6.3	Návrh umístění robota vně zákrutu včetně bezpečnostní klece	35
6.4	Návrh umístění robota uvnitř zákrutu včetně bezpečnostní klece	36
6.5	Víceúčelový robot FANUC M-710iC/70 [21]	37
6.6	Návrh umístění kartézského robota včetně bezpečnostní klece	38
7.1	Kolaborativní robot KUKA iiwa	40

Seznam tabulek

3.1	Rozdělení pohybů podle metody MTM [6]	20
-----	---	----

Seznam zkratek

TUL	Technická univerzita v Liberci
FM	Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
ŠA	Škoda Auto a. s.
MTM	Methods Time Measurement
TMU	Time Measurement Unit
MOST	Maynard Operating Sequence Technique
CNC	Computer Numerical Control
SCARA	Selective Compliant Articulated Robot Arm

1 Úvod

Automatizace ve výrobě je v dnešní době velmi často probírané téma. Využitím automatizačních prvků ve výrobě je možné ušetřit množství finančních prostředků a pracovní síly.

Nejčastějším prvkem automatizace jsou průmysloví roboti. Velké množství typů, umožňuje firmám vybírat robota přesně podle požadavků firmy a jeho plánované činnosti. Mezi další prvky patří automatické jednoúčelové stroje, jako jsou například CNC obráběcí stroje nebo výrobní linky na zakázku.

K automatizaci přispívá i to, jak je dnes výroba uzpůsobena. Vzhledem k velkému odbytu jsou firmy tlačeny k sériové výrobě, aby dokázaly pokrýt poptávku. Proto vznikají velké haly na specializovanou výrobu nebo dochází k automatizaci jednoduchých a repetitivních úkonů.

Naopak problémem v automatizované výrobě je personalizace výrobku, tedy případ, kdy si zákazník může zvolit, jak bude přímo k němu dodaný produkt vypadat nebo co bude obsahovat. Další komplikace mohou nastat, pokud se ve výrobě objevuje více typů výrobků. U takto řešených výrobních celků je automatizace velmi obtížná a omezená například jen na společné postupy výroby.

Tato práce rozšiřuje původní ročníkovou práci [1] zabývající se stejným tématem.

2 Výrobní celek

Od dob ruční výroby uplynulo mnoho let a výrobní procesy jsou od té doby sofistikovanější, rychlejší a kvalitnější.

Výrobním celkem může být cokoli, v čem ze vstupních materiálů vznikají hotové produkty. Pod výrobním celkem si můžeme představit jak ruční výrobu šperků, tak pekárnu nebo montážní halu [2]. Jednotlivé celky od sebe odlišuje kromě způsobu výroby a jeho výstupu také sériovost výroby, tedy to, jak velké množství produktů v určitém čase je schopný daný výrobní celek vytvořit. Sériovost výroby potom ovlivňuje, jakým způsobem je výroba uspořádána nebo jestli je výhodné ji automatizovat.

- **Kusová výroba**

S kusovou výrobou se lze setkat u výrobků prémiových značek výrobců nebo u firem, které se specializují na výrobu produktu, jehož cílová oblast může být velmi malá. Kusová výroba většinou bývá zároveň výrobou ruční, tedy není automatizovaná ani mechanizovaná. U kusové výroby lze velmi jednoduše pozměnit způsob nebo postup.

- **Malosériová**

Malosériová výroba se vyznačuje výrobou několika stejných kusů za sebou. Takový způsob výroby se již dá buďto automatizovat u úkonů, které jsou pro více výrobků stejné nebo lze alespoň mechanizovat. O malosériové výrobě lze mluvit například u výroby větších motorů, stavebních strojů nebo lokomotiv.

- **Velkosériová**

U velkosériové výroby se již mohou využívat výrobní linky. Je tedy oproti malosériové výrobě specializovanější a produkuje více kusů jedné série. S velkosériovou výrobou se můžeme setkat u automobilů a elektroniky.

- **Hromadná**

Hromadná výroba je většinou specializovaná pouze na jediný produkt. V největší míře je zde využita automatizace. Hromadně se vyrábí například elektrické komponenty, jako jsou vypínače nebo zásuvky.

Následně bude rozebráno, jakým způsobem lze rozdělit druhy výroby podle jejich uspořádání a pohybu mezi výrobními stanovišti.

2.1 Stacionární výroba

Stacionární výroba umožňuje vyrobit najednou pouze tolik výrobků, kolik je výrobních míst.

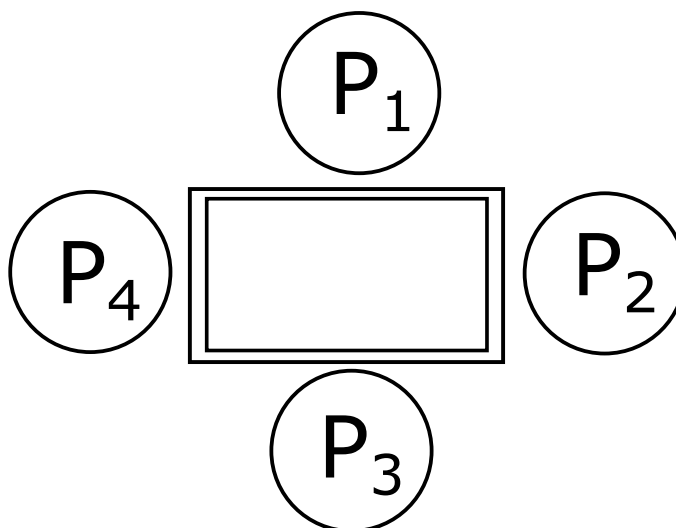
Při tomto druhu montáže je výrobek na jednom místě, kolem kterého se pohybují pracovníci, kteří přinášejí komponenty a kompletují je. V tomto případě se na jednotlivých stanovištích mohou střídávat skupiny pracovníků podle stavu výrobku.

Tento druh výroby lze použít u kusové nebo malosériové výroby. Například výroba prémiových značek automobilů je takto řešena.

Stacionární montáž lze rozdělit na dva typy

- **Soustředěná**

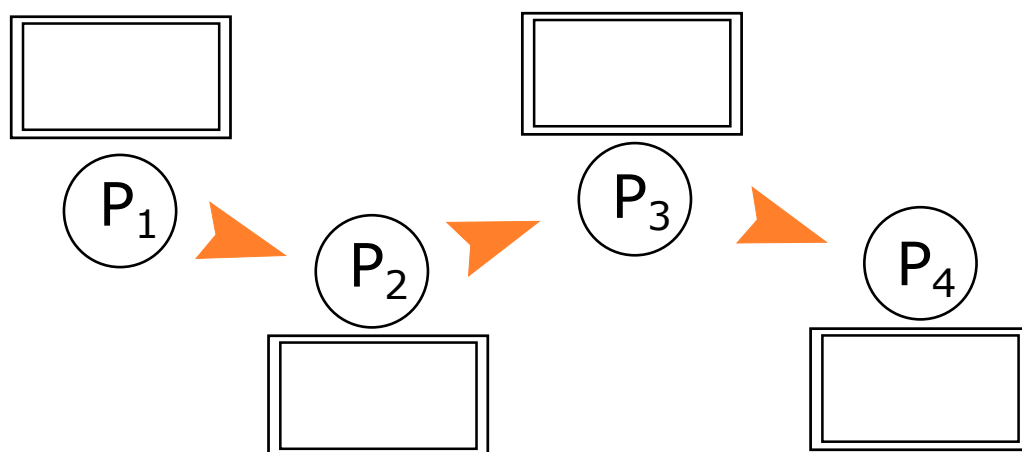
Vyráběný kus je na jednom místě, kam přistupují pracovníci po jednom nebo ve skupině 2.1. Postup práce je pouze orientační, může se u každého kusu lišit. Pracovníci musí být vyškoleni pro všechny druhy činností během výroby. Tento způsob umožňuje vyrábět pouze kus po kusu. Výroba dalšího kusu nemůže začít, dokud není předchozí kus zcela dokončen. Soustřednou výrobu si můžeme představit například jako dílnu.



Obrázek 2.1: Uspořádání soustředěné výroby

- **Rozčleněná**

Rozčleněná výroba znamená, že se vyrábí několik kusů naráz. Řešeno je to počtem několika stanovišť, která jsou vedle sebe a pracovníci mezi nimi postupně přechází 2.2. Výroba probíhá přesně podle předepsaných postupů. V tomto případě lze výrobu provádět v taktech, tzn. každá operace musí být provedena v předepsaném čase, který je pro všechny stejný. Čas taktu určuje nejpomalejší operace.



Obrázek 2.2: Uspořádání rozčleněné výroby

2.2 Nestacionární výroba

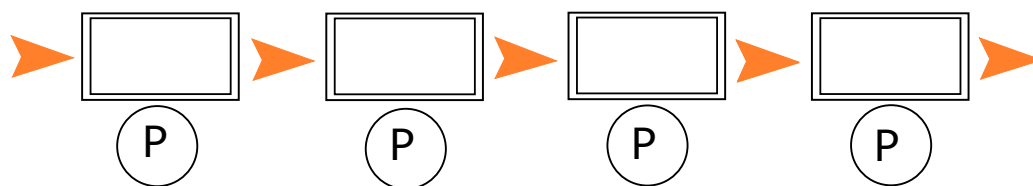
Ve spojení s tímto druhem výroby lze použít slovní spojení montážní linka tak, jak ho většina lidí chápe. Montovaný celek se pohybuje po lince, pracovníci jsou většinou na jedné pozici nebo plynule přechází podle potřeby. Každé pracoviště je upraveno na jediný úkon nebo sadu úkonů, které se dají za požadovaný čas stihnout.

Tyto montážní linky jsou vhodné k sériové a velkoobjemové výrobě například v automobilovém průmyslu.

Samotná výroba má kapacitu výrobních celků závislou na počtu pracovišť. Pohyb výrobních celků může být *volný* nebo *nucený*.

- **Volný**

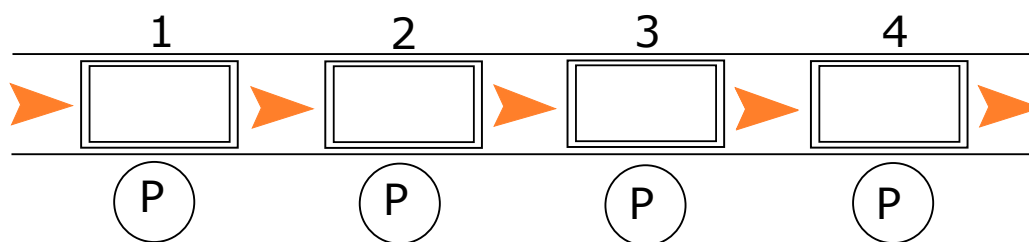
Pohyb mezi pracovišti zajišťují zaměstnanci. Vyobrazení výroby s volným pohybem celků je vyobrazena na obrázku 2.3. V tomto případě se nemusí jednat o linkovou výrobu, ale výrobu předmětnou, nemá pevně stanovenou dobu provádění operací.



Obrázek 2.3: Uspořádání výroby s volným pohybem výrobních celků

- **Nucený**

Pohyb mezi operacemi je automatický buď pomalý plynulý nebo přerušovaný v taktu. Takt linky je doba, po kterou je montážní celek na jednom pracovišti. Výrobní linka s nuceným pohybem celků a pevným taktom je vyobrazena na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Uspořádání výroby s nuceným pohybem výrobních celků

Nestacionární výrobu lze rozdělit podle množství vyrobených celků:

- **Předmětná (řadová)**

V tomto případě se jedná o malosériovou výrobu s přesnými pracovními postupy. Takt výroby je dán rychlostí pracovníků. Výroba je rozčleněna na větší celky, má tedy menší počet větších pracovišť, na kterých se provádí více operací najednou. Vzhledem k uspořádání výroby je mnohem jednodušší měnit postupy nebo vyráběné produkty. Výroba může být z menší části automatizovaná, ale spíše se zde jednotlivé takty mechanizují.

- **Linková**

Výroba je oproti předmětné rozdělena na drobnější celky, výrobní celek tedy má větší kapacitu, to znamená, že v jednom okamžiku se vyrábí více kusů najednou. Takt je dán samotnou linkou, tedy časem nejdelší operace. Vzhledem k velkým sériím jednoho typu výrobku, který na lince vzniká je těžší linku přestavovat nebo měnit výrobní postup. V tomto smyslu je řešena velkosériová výroba.

- **Proudová**

Výroba je v porovnání s linkovou rozdělena na ještě menší celky, takže je v tomto případě více pracovišť s malým počtem úkonů, takt tedy může být rychlejší, linka má větší kapacitu. Výroba je silně automatizovaná, což je dáno velkou specializací této výroby, například pouze na jeden jediný výrobek. Pohyb ve výrobním celku může být plynulý nebo přerušovaný. Tímto způsobem je řešena hromadná výroba.

2.3 Předmontáže

Předmontáže jsou výrobní celky, jejichž výstup se přímo neprodává, ale používá se dále ve výrobě. Předmontáže jsou vhodné pro sériové výroby. Realizace tímto způsobem je výhodná v tom, že ušetří délku hlavního výrobního celku.

Využití předmontáže lze uvést na příkladu. V ŠA probíhá příprava motoru samostatně. Motor je mimo karoserii. Je k němu tedy lepší přístup a ušetří se několik taktů, které by se musely věnovat osazování komponent okolo motoru, kdyby byl nejdříve vložený do karoserie.

Předmontování je výhodné i pro výrobky, kterých je ve výsledném produktu více. Opět se ušetří pracoviště v hlavní výrobě.

3 Metody návrhu a měření času výrobního procesu

Kapitola bude věnována možnostem měření časů výrobního procesu, který je již v provozu a možnosti simulace procesů ještě před vybudováním výroby. Metody níže rozebrané jsou vhodné k optimalizaci výroby, což je v době nastupujícího průmyslu 4.0 velmi diskutované téma.

Metody lze rozdělit na ty, jež lze aplikovat před realizací výroby a na metody, které popisují stávající stav. Do první skupiny patří počítačová simulace procesu. Do druhé skupiny patří chronometráž. Zbylé dvě metody, které jsou dále rozepsané (MOST a MTM) náleží do obou skupin.

3.1 Chronometráž

Chronometráž je metodou pro měření času na již funkční lince. Je vhodná k identifikaci problémových míst ve výrobě z hlediska času.

Metoda se dělí na dvě skupiny podle sledovaného času. Naměřené časy se následně dělí na práci, čekání a chůzi, kdy nic nenese. Z tohoto dělení následně vyplyne, jak moc je pracovník vytížený. Z dat je následně možné sestavit graf vytíženosti jednotlivých pracovníků a odhalit úzká místa linky. [3]

- **Snímek operace**

Snímek operace se může skládat ze záznamu celé operace pracovníka nebo z jednotlivých úkonů. Měření probíhá opakovaně ve většině případů po dobu deseti cyklů, kdy se zaznamenává video, ze kterého se časy měří. Z natočených materiálů se následně odečtou časy a operace se popíše.

- **Snímek pracovního dne**

Tato metoda se používá k měření vytíženosti pracovníků, kteří nepracují na lince v taktu. Měřící pracovník sleduje pracovníka celou jeho pracovní dobu a pečlivě zapisuje úkony a činnosti, které pracovník provádí. Oproti snímku operace se vše provádí ve větším měřítku, kdy se v tomto případě neřeší jednoduché úkony, ze kterých se skládá činnost, ale z hotových činností.

3.2 Počítačová simulace procesu

Počítačová simulace je vhodná k návrhu montážních linek ještě před jejich výstavbou. Simulace se provádí softwarově. Příklad simulačního softwaru může být systém Tecnomatix od Siemens PLM Software s.r.o. [4] Ukázka z toho softwaru je na obrázku 3.1. Dalším ze zástupců je systém Plant Simulation také od společnosti Siemens.

V programu se dají výrobní postupy jak navrhovat, tak simulovat. Dále je možné simulovat i ergonomii pracovišť nebo pohyby robotů.

Vzhledem k jeho ceně v řádech tisíců € je to prozatím řešení, které využívají převážně velké firmy.



Obrázek 3.1: Ukázka ze softwaru Siemens [5]

3.3 MTM (Methods Time Measurement)

Analýza MTM je metoda, při níž se manuální operace rozdělují na základní úkony [6]. Všechny základní úkony mají předem deklarovaný čas, který je zapsaný v tabulce úkonů MTM.

Metoda je výhodná, protože podle návrhu pracoviště se dá vypočítat časová náročnost operace a tím ještě před samotnou výrobou odhalit její problémová místa. Mezi nevýhodné aspekty patří náročnost výpočtu MTM, kdy výpočet minutové operace může trvat až pětáctýřicet minut. Kromě toho lze v takto komplikovaném výpočtu jednoduše udělat chybu.

Analýza má vlastní jednotku TMU (Time Measurement Unit), která odpovídá sto tisícině hodiny, tedy $1 \text{ TMU} = 0,00001 \text{ hodiny}$.

Metoda MTM se dále dělí na 5 stupňů. Nejvíce používané jsou první tři, které jsou dále rozebrané:

- **MTM-1**

Tento stupeň analýzy je pro operace trvající do 30 sekund. Je to nejdetailnější stupeň.

- **MTM-2**

Druhý stupeň analýzy je vhodný pro operace od 30 sekund do 3 minut.

- **MTM-3**

Třetí stupeň analýzy je vhodný pro operace trvající od 3 do 30 minut.

Metoda dělí pohyby na pohyby ruky, očí a pohyby těla a nohou, jak je vidět na příkladu v tabulce 3.1

Pohyby ruky:			
	Český název	Zkratka	Anglický název
1	Sáhnout	R	Reach
2	Uchopit	G	Grab
3	Přemístit	M	Move
4	Spojit	P	Position
5	Pustit	RL	Release
6	Oddělit	D	Disengage
7	Obrátit	T	Turn
8	Tlačit	AP	Apply Pressure
Funkce zraku:			
1	Sledovat pohledem	ET	Eye Travel
2	Pohled zaostřit	EF	Eye Focus
Pohyb těla a nohou:			
1	Pohyby chodidla bez tlaku	FM	Foot Movement
2	Pohyb jedné nohy	LM	Leg Movement
3	Úkrok stranou	SS	Side Step
4	Otočení těla	TB	Turn Body
5	Chůze bez zátěže a překážek	W-P	Walk Place
6	Předklonění	B	Bend
7	Vzpřímení	A	Arise
8	Úklon	S	Stoop
9	Klek na jedno koleno	KOK	Kneel on One Knee
10	Klek na obě kolena	KBK	Kneel on Both Knees
11	Sednout	SIT	Sit
12	Vstát	STD	Stand

Tabulka 3.1: Rozdělení pohybů podle metody MTM [6]

Každý pohyb má vlastní zkratku, která vychází z anglického názvu daného pohybu.

3.4 MOST (Maynard Operation Sequence Technique)

MOST lze přeložit jako Maynardova technika posloupnosti operací [7]. Technika se zabývá činnostmi spojenými s pohybem objektů popsanych v definovaných pohybových sekvencích. Podle konkrétní situace je sekvenci přiřazena doba trvání operace.

Metoda byla poprvé využita ve Švédsku ve firmě Maynard Corporation.

MOST je rozdělen na dvě kategorie.

- Uchopený předmět je přesouván v prostoru bez dalšího dotyku.
- Uchopený předmět je přesouván po podložce nebo s dalším dotykem.

Dále se MOST dělí na tři varianty podle délky cyklů. Se zkracující se dobou cyklu se zvyšuje úroveň zpracování detailů cyklu.

- **Maxi-MOST**

Varianta pro cykly delší než 2 minuty. Cykly se mohou protáhnout až na několik hodin. Opakování cyklů je maximálně 150/týden.

- **Basic-MOST**

Varianta pro cykly od 10 sekund do 10 minut s opakováním 150/týden – 1500/týden.

- **Mini-MOST**

Varianta pro cykly od 2 do 10 sekund s opakováním více než 1500/týden.

4 Průmysloví roboti

Průmyslových robotů je na trhu široká nabídka, od nejmenších robotů, kteří umí pohybovat malými předměty na malou vzdálenost velmi přesně ($\pm 0,01$ mm) až po roboty s nosností přes dvě tuny s přesností $\pm 0,18^\circ$. Tato rozmanitost trhu umožňuje zákazníkům vybrat přesně roboty podle potřeby.

Prvotní dělení robotů je podle konstrukce [8].

- Příímá konstrukce
 - Kartézský robot
 - Robot cylindrické konstrukce
 - Robot sférické konstrukce
 - Angulární robot
- Paralelní konstrukce

Jednotlivé kategorie budou rozebrány v následujících kapitolách.

4.1 Příímá konstrukce

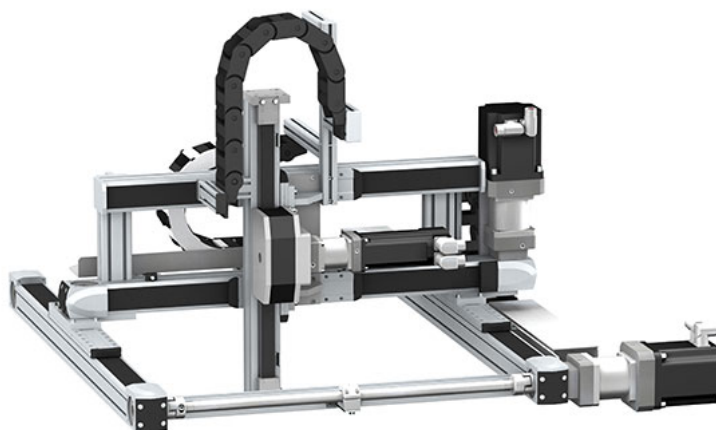
Příímá konstrukce spočívá v dosažení požadovaného bodu s jedním ramenem. Pro představu si lze představit průmyslové roboty s příímou konstrukcí jako lidské paže.

Většina robotů s příímou konstrukcí má 3 osy polohovacího subsystému a 3 orientačního subsystému. Osy mohou být posuvné nebo rotační. V ojedinělých případech mají roboti více os, jejich konstrukční řešení následně vymezuje mnohem větší prostor nebo jsou tito roboti schopni dosáhnout za překážku. Konstrukční rozdělení robotů potom vyplývá z os polohovacího subsystému.

4.1.1 Kartézský robot

Tento druh konstrukce lze někdy označit i jako portálový robot.

Pracovní prostor kartézského manipulátoru je tvarem kvádr. Osy polohovacího subsystému jsou všechny posuvné. Příklad kartézského robota je na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Kartézský robot od společnosti Lexium [9]

4.1.2 Robot cylindrické konstrukce

Tato konstrukce vymezuje pracovní prostor ve tvaru válce, toho je docíleno dvěma posuvnými a jednou rotační vazbou.

Do této kategorie spadá jeden z velmi často využívaných průmyslových robotů a to robot SCARA.

SCARA

SCARA (Selective Compliant Articulated Robot Arm) je nejmenší zástupce na trhu s průmyslovými roboty. SCARA roboti jsou velmi rychlí a velmi přesní ($\pm 0,01$ mm).



Obrázek 4.2: SCARA robot od společnosti FANUC [10]

4.1.3 Robot sférické konstrukce

Konstrukcí vymezený prostor je část kulového vrchlíku. Polohování je řešeno dvěma rotačními vazbami a jednou posuvnou vazbou



Obrázek 4.3: Přehled angulárních robotů KUKA [11]

4.1.4 Angulární robot

Tato konstrukce je řešena pouze rotačními vazbami. Jedná se o nejobvyklejší koncepci průmyslového robota. Jejich výhodou je dobrá dynamika, malá zastavěná plocha a velký pracovní prostor. Na obrázku 4.3 je přehled nabízených robotů společnosti KUKA od nejmenšího robota iiwa s nosností 7 kg po největšího KR 1000 titan s nosností až 1300 kg. Společnost FANUC vyrábí robota s nosností až 2300 kg

Kolaborativní nebo také senzitivní robot je v oblasti průmyslových robotů vždy angulární konstrukce s měkčenými kryty, které mají omezit dopady srážky s obsluhou robota.

Výhodou je jeho schopnost spolupracovat bok po boku s lidmi. K tomuto účelu využívá čidla momentu, kterými rozpozná, když mu v pohybu něco brání a svůj pohyb přeruší. Doplněn může být o optické závory, které hlídají přítomnost obsluhy. Pokud je obsluha přítomna, robot zpomalí.

Nevýhodou je nižší rychlost, kterou je robot schopen vykonávat pohyb. Tato rychlost je omezena právě kvůli bezpečnosti pracovníka. Další nevýhodou je jeho omezená nosnost. Nosnost je omezena hlavně kvůli bezpečnosti obsluhy. Největší kolaborativní robot společnosti Fanuc má nosnost 35 kg.

Spolupracující roboti se využívají k přímé spolupráci s člověkem třeba při opakovaném zvedání těžkého břemena nebo při lehké kompletační práci. Představitelé kolaborativních robotů mohou vypadat jako na obrázku 4.3 úplně vlevo (KUKA iiwa)

4.2 Paralelní konstrukce

Paralelní konstrukce průmyslového robota spočívá v umístění koncového stupně robota na více paralelních ramen. Tato topologie je výhodná hlavně kvůli velké přesnosti, která je dána právě použitím více paralelních ramen, která se navzájem podporují nebo si naopak brání v pohybu.

Speciální skupinou robotů paralelní konstrukce jsou například Delta roboti. Na obrázku 4.4 je vidět, že svou konstrukcí připomínají pavouky. Jsou velmi rychlí a přesní. Právě kvůli své konstrukci však nemají příliš velký dosah a nosnost.



Obrázek 4.4: Delta robot ABB [12]

Přehled několika výrobců průmyslových robotů

KUKA Robotics [13]

ABB [14]

FANUC robotic [15]

Mitsubischi Electric FA [16]

Yaskava [17]

Stäubli [18]

5 Současný stav výroby ve Škoda Auto

Tato kapitola se bude zabývat popisem současného stavu montáže v ŠA.

Ve výrobním závodu v Mladé Boleslavi se nachází dvě hlavní výrobní haly. Předmětem zájmu této práce je začátek předmontáže podvozku v hale M13, ve které se montují primárně vozy Škoda Octavia.



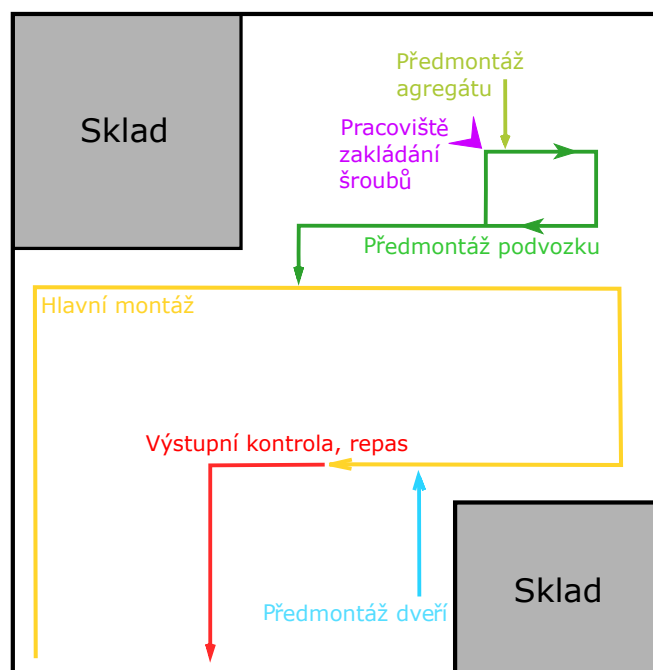
Obrázek 5.1: Fotografie montáže v hale M13 [19]

5.1 Montážní linka

V hale M13 je jedna hlavní montážní linka a tři předmontáže. Do haly jsou dodávány všechny díly na vozy a kompletně nalakovaná karoserie. Rozložení hlavní montáže i předmontáží je přímková s několika oblouky, kdy se montáž otáčí a vrací zpět. Část montážní linky je na obrázku 5.4.

5.1.1 Hlavní montáž

Hlavní montáž začíná sundáním dveří z karoserie. Dveře se sundávají kvůli lepšímu přístupu do interiéru vozu a zároveň je mnohem snazší nastrojit dveře zvlášť, protože ubývají takty hlavní montáže. Během dalších taktů dochází k osazení interiéru.



Obrázek 5.2: Principiální rozložení haly M13

Následuje zástavba podvozku, kde se spojí karoserie s podvozkem, který se na předmontáži skládal na palety. Několik dalších taktů se podvozek a jeho díly upevňují ke karoserii. Tato koncepce je dána použitím samonosné karoserie. Montáž pokračuje dokončováním motorového prostoru a namontováním nárazníků a kol. Dále se montují dveře a dokončuje se interiér. Nakonec se ožíví řídicí jednotka vozu, který následně odjíždí z linky na výstupní kontrolu.

Celá montážní linka běží **v taktu 58 sekund**. To je tedy čas, který je přípustný na provedení předepsané operace v daném taktu.

5.1.2 Předmontáže

Hala M13 obsahuje tři předmontáže.

- **Předmontáž agregátu**

Předmontáž agregátu, kde se osazují díly pohonné jednotky vozu, ústí v předmontáži podvozku, kde se agregát pokládá na přední nápravu.

- **Předmontáž podvozku**

Tato předmontáž je rozdělena na dvě sekce.

- V první sekci se skládají díly přední nápravy a agregátu. Sekce začíná zásobníkem agregátových palet, která je umístěna u stropu a automat zde vybírá správný typ palety pro vybranou modifikaci vozu, který je v plánu montáže. Jako jediná je tato sekce uzpůsobená do tvaru obdélníku, kde se výstup vrací zpět na začátek montáže.

Agregátová paleta 5.3 je konstrukce vložená na jednotlivé vozíky na předmontáži podvozku. Palety jsou modifikovatelné. Lze je tedy připravit na předmontáž různých variant vozů nebo motorizací.



Obrázek 5.3: Fotografie vozíku s agregátovou paletou

Palety jsou číslovány a ukládané v automatickém zásobníku. Palety se na předmontážní vozíky pokládají na začátku předmontáže. Na konci předmontáže se paleta odebírá. Manipulace s agregátovými paletami je plně automatická.

Agregátové palety obsahují čtyři magnetická vřetena pro založení šroubů. Toto zakládání je předmětem práce. Kromě dalších prvků a úchytů vystupují z palety také čtyři navigační trny. Tyto trny jsou vysoké 96,5 cm od spodní části palety.

- Druhá sekce je uzpůsobená k montáži celého podvozku včetně veškerých vedení. Montáž probíhá na paletách, které jsou uzpůsobeny podle modifikace modelu, je tedy rozdíl mezi paletou pro Octavii s pohonem na všechna kola a Octavii s pohonem předních kol.

- **Předmontáž dveří**

Předmontáž dveří začíná odebráním dveří z nalakované karoserie a končí v zásobníku dveří, kde dveře čekají na osazení zpět na vůz. Montáž spočívá v osazení dveří elektronikou, skly a následně čalouněním.

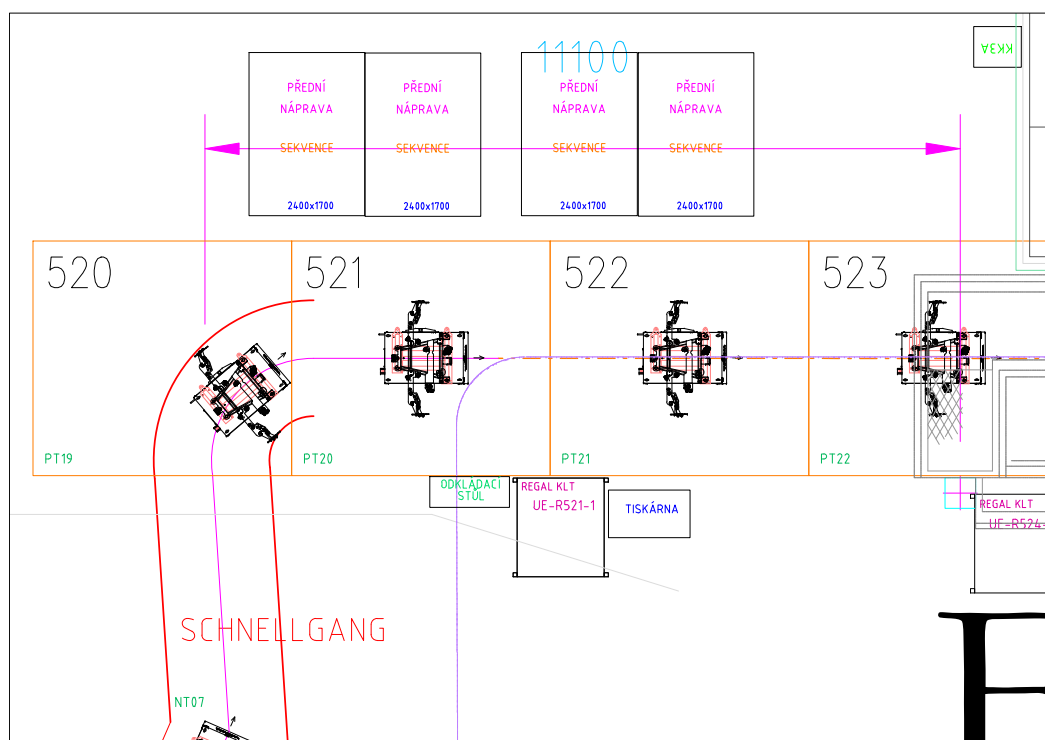
5.2 Pracoviště

Pracoviště, které bude rozebráno v této práci se nachází na začátku předmontáže podvozku v hale M13 v závodě Škoda Auto v Mladé Boleslavi. V prostoru prvních dvou taktů předmontáže podvozku (fialový ukazatel na nákresu haly 5.2).

5.2.1 Rozložení pracoviště

Pohybují se zde dva operátoři. U linky stojí počítač s tiskárnou, který tiskne listy s informacemi pro zavěšení na vozík s paletou, montážní stůl se zásobníkem na šrouby a zásobník na přední nápravy. Nad pracovištěm je zavěšený ručně ovládaný manipulátor.

Rozložení pracoviště je názorně vidět na přiloženém layoutu na obrázku 5.4.



Obrázek 5.4: Layout pracoviště zakládání šroubů

5.2.2 Činnosti operátora výroby

Činnost operátora začínám nabráním čtyř šroubů ze zásobníku ve stole. Po příjezdu automatického vozíku s agregátovou paletou vloží operátor všechny čtyři šrouby do vřeten v paletě. Založení šroubů je právě ta operace, která by se měla automatizovat, je tedy předmětem této práce.

Následně navlékne na přední dva šrouby montážní plechy, které v hotovém vozu přidrží agregát. Druhý operátor si mezitím na zavěšený manipulátor připraví zkompletovanou přední nápravu. Po ukončení činnosti prvního operátora položí druhý operátor pomocí manipulátoru nápravu na paletu. První operátor následně zavěsí na vozík s paletou list s potřebnými informacemi o modelu. Tímto takty 521 a 522 končí. Vozík dále pokračuje do taktu 523, kde se na paletu pokládá pohonný agregát.

6 Návrh řešení

V této kapitole se nachází navržená a podrobně rozepsaná řešení, která přichází v úvahu k možné realizaci [8].

Kritéria pro návrh robotizovaného pracoviště

- **Maximální zatížení konstrukce robota**
 - **Drobná robotika** do 10 kg
 - **Nízká zátěž** 5 - 15 kg
 - **Střední zátěž** do 60 kg
 - **Vysoká zátěž** 80 - 270 kg
 - **Velká nosnost** 360 - 1000 kg
- **Prostředí robotizovaného pracoviště**
 - **Normální prostory**
Prostory s teplotou 0°C 40°C a vlhkostí do 60 %
 - **Lakovny**
Prostory s vysokou prašností
 - **Slévárny a lisovny**
Prostory s vysokou teplotou a prašností
 - **Čisté prostory**
Prostory s minimálním znečištěním
 - **Výbušné prostory**
Prostory bez možnosti jiskření nebo vysokým teplot
- **Umístění robota**

U výběru vhodného robota je třeba zhodnotit možnosti vedení médií (elektřina, stlačený vzduch, atd.) Někteří roboti nabízí možnosti vnitřních okruhů vedených až na koncový stupeň. Jsou tedy připraveni přímo na připojení efektoru bez nutnosti externích vedení připevněných na robota. U modelu robota bez vnitřního vedení médií je nutné dodat efektoru potřebná média externím vedením. Toto vedení může být součástí robota, tedy připevněné na jeho konstrukci nebo může být vedeno mimo robota na jiné konstrukci.

Další problém, který se objevuje při volbě umístění robota je jeho pracovní prostor. Pokud se vyskytne ve vymezeném pracovním prostoru nenadálá překážka, robot ji nemá jak zaregistrovat. Tento problém se řeší vícero způsoby.

– **Bezpečnostní klec**

Bezpečnostní klece jsou nejvíce využívaným způsobem zábrany kolem robota. Klec bývá v dostatečné vzdálenosti od robota i s jeho efektozem, což zabraňuje jak vniknutí pracovníka do prostoru robota, tak rozpárání klece robotem.

Klec může být k robotu blíže, než je jeho maximální dosah. V tomto případě musí být robot omezen programově. Toto programové omezení není třeba označovat jako bezpečnostní, protože pokud by robot začal párat klec, jeho senzory zatížení jednotlivých kloubů budou reagovat a činnost robota se zastaví.

– **Bezpečnostní dorazy**

Omezení prostoru robota bezpečnostními dorazy může být využito v případě práce robota ve výřezu, který směřuje ke stěně nebo pokud není z otevřené strany k robotu žádný přístup.

Zastavení robota na dorazech je opět docíleno snímači zatížení na jednotlivých kloubech. V krajních případech při disfunkci snímače může zafungovat pevná konstrukce dorazu, která rameno robota zastaví.

– **Bezpečnostní programové omezení pracovního prostoru robota** Většina výrobců robotů je schopna dodat k robotickému pracovišti bezpečnostní systémy. Tyto systémy aktivně hlídají maximální prostor dosažitelný robotem. Pokud se v prostoru objeví překážka, může robot zpomalit nebo úplně zastavit. Stejně hlídáný je potom přímo pracovní prostor robota, kde robot při jeho narušení zastavit musí.

6.1 Robot zavěšený na portálové konstrukci

Toto řešení by mělo využít konstrukce angulárního robota, který by založil šrouby, nabral další ze zásobníku a složil se tak, aby nepřekážel dalšímu pohybu vozíku s agregátovou paletou.

Použitý robot by měl být zavěšen na portálové konstrukci, aniž by zamezoval pohybu ručního manipulátoru na přední nápravy nebo omezoval průchod logistickou uličkou.

Hlavní problémy k řešení:

- Umístění portálové konstrukce
- Dosah robota a jeho nosnost
- Umístění zásobníku šroubů

Umístění portálové konstrukce

Portálová konstrukce je vlastně horizontálně umístěný nosník na dvou sloupech. Umístěna bývá tak, aby rozšířila maximální prostor robota. Bývá tedy nad pracovištěm, které má robot obsluhovat.



Obrázek 6.1: Robot KR 30 JET na portálové konstrukci s pojezdem [20]

Portálová konstrukce může být řešena jako rozšíření maximálního prostoru robota přidáním stupně volnosti, tedy přidáním pojezdu na portálu. Můžeme se setkat i s variantou, kdy bude robot na portálové konstrukci pevně upevněn, protože takové řešení je pro danou aplikaci dostačující.

Konstrukce, na které bude robotu upevněn musí být dostatečně pevná, aby nedocházelo ke snížení opakovatelnosti pohybů robota.

Na layoutu 6.2 je znázorněno, jak by mohlo pracoviště vypadat. Vybraný model robota s portálovou konstrukcí je jediný, ke kterému se podařilo najít výkres.

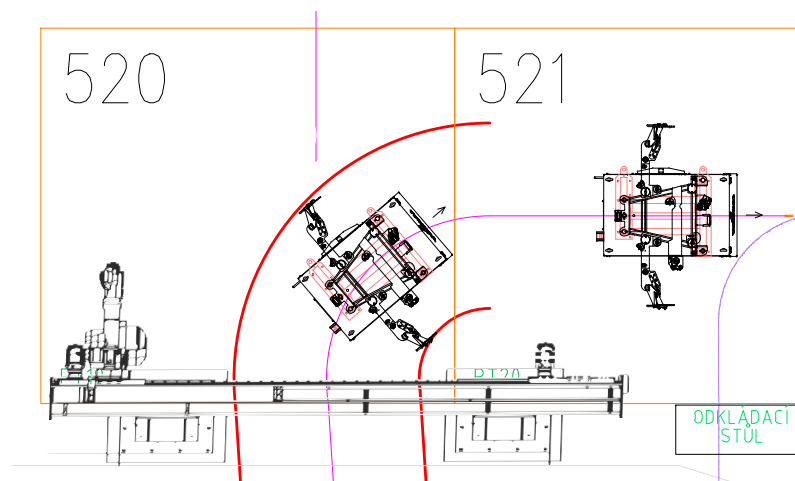
Pro tuto aplikaci by byla dostačující konstrukce kratší, s délkou jen po podpůrné sloupy. Robota by v této aplikaci stačilo upevnit pevně doprostřed konstrukce. Krátký pojezd uprostřed konstrukce by však pomohl k řešení problému s překážejícími navigačními trny agregátové palety.

Dosah robota a jeho nosnost

Vybraný robot upevněný na portálové konstrukci musí mít pro danou aplikaci potřebný rozsah.

Délka ramena robota bude dána hlavně způsobem zakládání šroubů na agregátovou paletu. Je zde několik variant:

- Zastavení vozíku



Obrázek 6.2: Layout s návrhem umístění portálové konstrukce s robotem

Pokud se rozhodneme vozík s agregátovou paletou zastavit, je zde opět několik možností, kde a kolikrát tak učinit:

- Zastavení vozíku lze provést přímo pod konstrukcí s robotem. V tomto případě by bylo vhodné udělat s vozíkem dvě zastávky pro založení vždy dvou šroubů. Tímto způsobem by se dala snížit potřebná délka ramene robota. Jeho délku primárně ovlivní výška portálové konstrukce.
 - Vozík s paletou lze zastavit i v místě, kde robot dosáhne na všechna umístění šroubů. Tato možnost vyžaduje delší rameno robota, než možnost předchozí.
- **Vozík v pohybu** Zakládání šroubů na paletu při jejím pohybu je možné opět zvolit variantu založení vždy dvou šroubů najednou.

Reálná aplikace by mohla být řešena takto:

Robot nabere dva šrouby ze zásobníku. Se šrouby se přesune nad počáteční pozici zakládání. Po příjezdu vozíku s paletou začíná zakládání. Po založení šroubů robot nabírá ze zásobníku další dva. Robot se vrací na počáteční pozici. Po příjezdu zakládacích pozic robot šrouby založí. Následuje příprava na další paletu.

Rychlost předmontážního vozíku by měla být optimalizována tak, aby robot bez problému tyto úkony stihl.

Výhodou tohoto postupu by měla být možnost použití robota s kratším ramenem jako v případě dvojího zastavení vozíku.

Nosnost robota se bude odvíjet podle toho, jestli bude zakládat všechny čtyři šrouby najednou nebo pouze po dvou.

V obou případech zakládání bude potřeba na zápěstí robota upevnit nastavbu, která umožní správné založení šroubů do pozic.

Umístění zásobníku šroubů

Zásobník šroubů by měl být umístěn tak, aby robot bez problémů dosáhl pro šrouby. Zásobník musí být dosažitelný i pro obsluhu, která bude šrouby doplňovat.

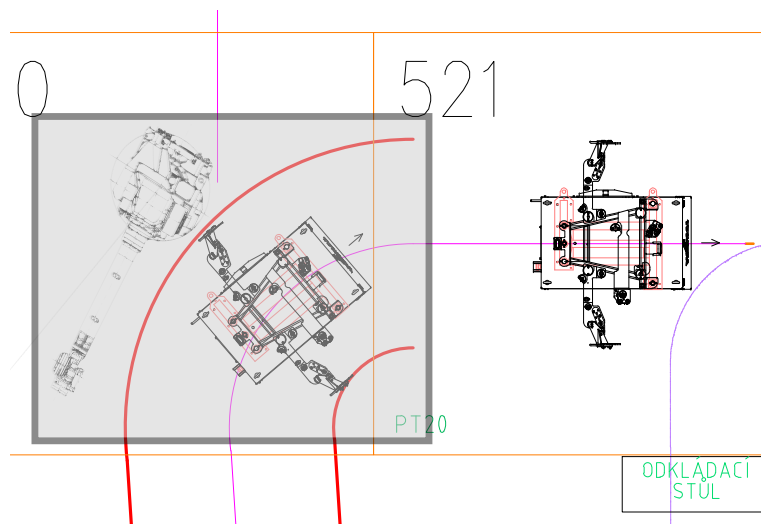
Velikost zásobníku by měla být taková, aby příliš nezatěžoval logistiku. Umístění zásobníku by nemělo ovlivnit délku ramene robota. Délka ramena robota následně negativně ovlivňuje jeho cenu a přesnost.

6.2 Robot vně/uvnitř zákrutu linky

V této variantě se opět počítá s využitím angulárního robota. Jsou zde dvě možnosti, kam robota postavit.

Pro obě možnosti je možné využít robota se stejným dosahem. V rámci možnosti řešení s modelem robota s omezenou délkou ramene je vhodné v obou případech robota vyzdvihnout na stojanovou konstrukci. Konstrukce by měla být ve stejné výšce, jako je agregátová paleta, aby se využil maximální dosah robota.

Robot vně zákrutu linky 6.3



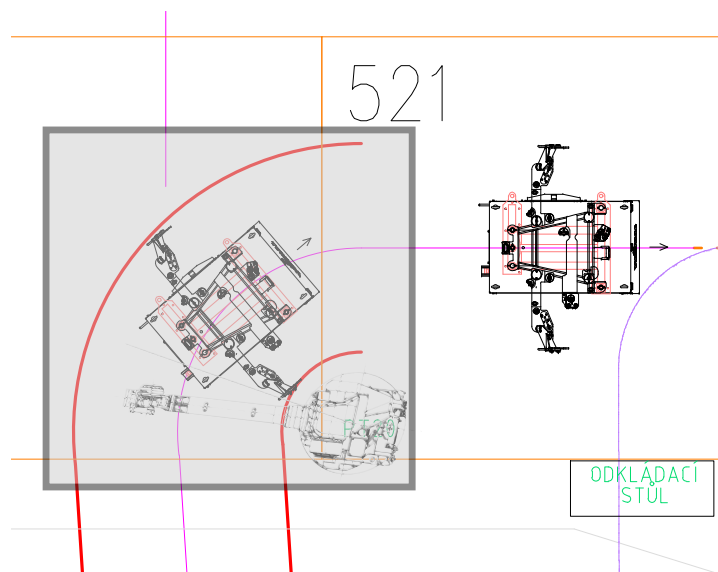
Obrázek 6.3: Návrh umístění robota vně zákrutu včetně bezpečnostní klece

Robot uvnitř zákrutu linky 6.4

Jak je vidět v layoutech 6.3 a 6.4, tak bezpečnostní klec robota zasahuje pod ruční manipulátor na přední nápravy. Tento problém se dá řešit snížením klece v místě dráhy manipulátoru tak, aby se do vzniklé škvíry mezi kolejnicemi a klecí manipulátor vešel. Manipulátor je vlastně jeřáb zavěšený na kolejničích, ve kterých se pohybuje volně, nehrozí tu žádné omezení výroby kvůli rychlosti pojezdu manipulátoru, protože ho operátor ovládá pouhým tahem.

Z přiložených layoutů je také vidět, že varianta s robotem umístěným uvnitř zákrutu linky je prostorově úspornější.

V obou případech je třeba počítat s průjezdy pro vozíky v bezpečnostní kleci.



Obrázek 6.4: Návrh umístění robota uvnitř zákrutu včetně bezpečnostní klece

Průběh zakládání

Zakládání bude v obou případech probíhat stejně. Při zakládání robotem ze země je vhodné se přiklonit k založení všech čtyř šroubů najednou. Pro založení bude potřeba robot s dosahem přes 1,5 m. V nabídce výrobců robotů lze najít modely, které budou splňovat všechny požadavky. Mezi požadavky patří:

- Dostatečná nosnost pro zakládané šrouby a efektor
- Opakovatelnost operace s vhodnou přesností

Zakládání může probíhat jak během pohybu vozíku s paletou, tak při zastavení vozíku na místě. Omezující by mohl být výběr typu robota, který by měl rameno pouze tak dlouhé, aby přesně dosáhl na vzdálenější zakládací pozice. Tuto možnost je ovšem lepší vypustit vzhledem ke zpomalení rychlostí robota v takových případech. Robot zpomaluje proto, že se na konci svého maximálního prostoru často dostává do singularity. Singularita je pojem označující situaci, kdy je více než jeden způsob, jak se dostat do požadovaného bodu.

Jednou z možných variant výběru robota je například robot FANUC M-710iC/70 6.5. Robot je vhodný se svým dosahem 205 cm a nosností 70 kg.

V tomto umístění robota lze uvažovat i o robotu **kolaborativním**. Bohužel v dnešní době je na trhu největší kolaborativní robot s maximálním dosahem přes 1,8 m a nosností 35 kg. Omezená nosnost robota by znamenala zakládání šroubů po dvou. To by ovšem nemusel robot vzhledem ke své snížené rychlosti stihnout v době taktu. Dalším faktorem omezujícím použití kolaborativního robota je použití velkého efektoru, který by se musel přizpůsobovat tak, aby byl bezpečný při kontaktu s obsluhou nebo operátorem.

Z těchto důvodů lze usoudit, že použití kolaborativního robota je pro danou aplikaci nevhodné.



Obrázek 6.5: Víceúčelový robot FANUC M-710iC/70 [21]

6.3 Kartézský robot

Řešení s kartézským robotem 4.1 by vyžadovalo zastavení vozíku s agregátovou paletou, tak, aby robot mohl vykonat zakládání šroubů. Pokud vozík při zakládání zastaví, je možné použít konstrukci stejně velkou, jako je agregátová paleta 6.6.

Trh s kartézskými roboty je velmi omezený. Během zpracovávání této práce jsem nebyl schopen nalézt dostatečně velkého kartézského robota.

Vzhledem k jednoduchosti konstrukce je ovšem možné robota zkonstruovat. Tato konstrukce se skládá z vodicích kolejnic a pohonů.

Pro dosažení co nejlepší opakovatelnosti bude třeba vyvinout pevnou konstrukci bez vůlí. Ke zvýšení pevnosti je vhodné zdvojit konstrukci robota. Všechny vodicí kolejnice by tedy měly být dvojité na obou stranách konstrukce. Ke zvážení poté zbývá, jestli budou poháněné obě kolejnice vlastním motorem nebo bude na každou osu jeden motor a na protější stranu se pohyb přenesl pomocí převodů.

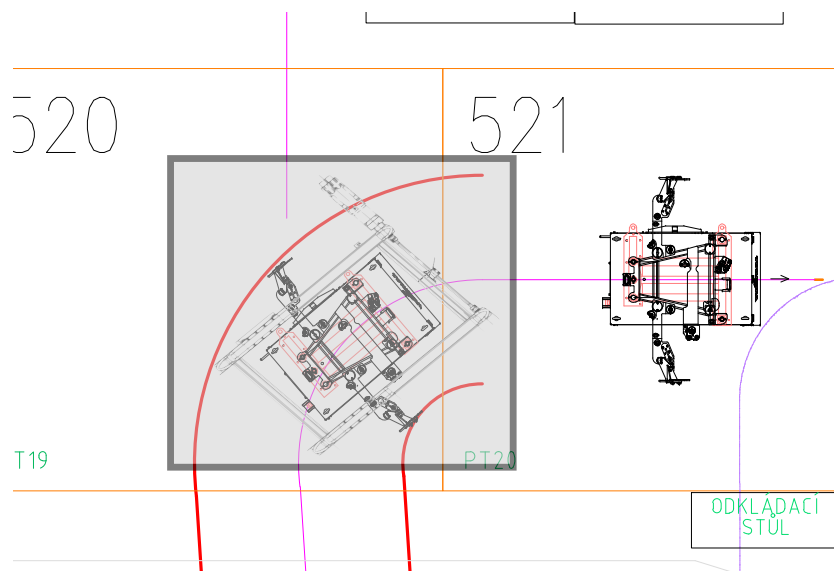
K pohybu by měl robot využívat synchronních motorů, pro jejich výborné vlastnosti v odvětví automatizace.

Výsledná konstrukce robota musí být zavěšena na sloupové konstrukci. Tato konstrukce musí být dostatečně vysoká, aby se zabezpečil průjezd vozíku s agregátovou paletou. Zároveň by neměla být příliš vysoká, aby nemuselo být příliš dlouhé rameno robota zajišťující pohyb ve svislé ose.

Zakládání šroubů by mělo v tomto případě být omezeno nosností celé konstrukce, která po zohlednění opakovatelnosti pohybu bude nižší. Zakládat bude tedy robot po jednom šroubu.

Zásobník šroubů bude umístěn na nosné konstrukci robota. To zaručí jak dosah obsluhy na doplnění šroubů do zásobníků, stejně jako dosah robota na vybrání šroubů ze zásobníku.

Bezpečnostní klec je v tomto případě nutná kvůli nebezpečí kontaktu s robotem nad agregátovou paletou.



Obrázek 6.6: Návrh umístění kartézského robota včetně bezpečnostní klece

7 Srovnání řešení

Tato kapitola se bude zabývat srovnáním navržených řešení, jejich výhodami, nevýhodami a finanční návratností.

Řešení by měla být srovnávána podle následujících kritérií:

- **Přibližná pořizovací cena**

Co se týče pořizovací ceny, vyjdou všechny možnosti téměř stejně, s maximálním rozdílem v řádu jednotek tisíců €.

Ve variantě s portálovou konstrukcí lze využít robota menší konstrukce oproti variantě s robotem postaveným na zemi. Výdaje se tedy téměř rovnají, protože k menšímu robotu se musí připočíst náklady na portálovou konstrukci.

Kartézský robot se jeví jako nejlevnější řešení, ale bude zde problém s řízením jednotlivých os. Taktéž bude třeba tohoto robota vyvinout a zkonstruovat.

- **Zastavěná plocha**

Z hlediska zastavěné plochy je nejlepší možnost s kartézským robotem, protože jeho bezpečnostní klec je možné vytvořit tak, aby zabírala nejmenší plochu oproti ostatním řešení. U ostatních řešení musí být v kleci kromě předmontážního vozíku uzavřený samozřejmě robot, který klecí zastavěnou plochu zvyšuje.

- **Možnosti rozšíření**

Ve všech možnostech je možné rozšířit robotické pracoviště o další činnost. Tou by mohlo být například načtení kódu z vozíku do systému. Tento problém by se dal řešit přidáním malého robota, který by byl na konci taktu. Tento robot by bezprostředně po zavěšení kódu na vozík operátorem kód načetl.

Načtení kódu by se dalo vyřešit malým kolaborativním robotem, který by byl umístěn přímo u linky. Robot by byl vybaven čtečkou kódů. Pro tento účel se hodí například kolaborativní robot KUKA iiwa z obrázku 7.1.



Obrázek 7.1: Kolaborativní robot KUKA iiwa

8 Závěr

Z předchozích informací vyplývá, že všechny varianty jsou z vybraných hledisek vhodné. Cenové rozdíly nejsou příliš velké. Jediný rozdíl ve vybraných variantách je složitost konstrukce a zastavěný prostor.

Ve všech variantách řešení je třeba na roboty nainstalovat efektor s rotačním uchycením šroubů. Rotace je potřebná ke správnému založení šroubů do vřeten na agregátové paletě. Tato vřetena jsou magnetická, aby založené šrouby držely v pozici.

Zakládání šroubů je u variant s angulárním robotem vhodné řešit založením více šroubů najednou. Tento postup je vhodný vzhledem k opotřeбенí jednotlivých částí robota. Je tedy ekonomičtější zakládat šrouby najednou. Kdyby robot každý šroub zakládal zvlášť, robot by byl stále v pohybu.

Všechna řešení je mimo jiné vhodné doplnit **optickým systémem** pro detekci polohy vozíku. Vozík je sice možné zastavit, ale není možné zaručit dostatečnou přesnost, která by zaručila bezproblémové založení šroubů. Optický systém by měl zaručit rozpoznání zakládacích bodů.

Finanční návratnost každé z variant řešení je přibližně rok. Tento údaj vychází z průměrného měsíčního platu operátora včetně benefitů, kterým se dělí pořizovací cena robota. Výsledný údaj je počet měsíců, za které se robot "zaplatí".

Ze všech možností bych nakonec vybral možnost s angulárním robotem uvnitř zákrutu. Jeho pozice příliš nenarušuje dosavadní rozmístění linky. Bude velmi jednoduché vyřešit v tomto případě zásobník šroubů tak, aby byl dostupný i pro obsluhu.

Použitá literatura

- [1] KUČERA, Jaroslav. *Aautomatické zakládání šroubů na agregátovou paletu*. Liberec, 2018. Ročníkový projekt. Technická univerzita v Liberci.
- [2] BUREŠ, Marek. *Tvorba a optimalizace pracoviště*. Plzeň: Smart Motion, 2013. ISBN: 978-80-87539-32-3.
- [3] PETEŘÍK, Adam. *Balancování výrobní linky* [online]. Plzeň, 2017 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27114/1/BP_Balancovani_vyrobni_linky_-_A._Peterik.pdf. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [4] *Automobilový průmysl a Siemens PLS Software* [online]. Praha: Webservis, 2018 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/1410-automobilovy-prumysl-a-siemens-plm-software.html>.
- [5] *Ukázka ze softwaru Siemens* [online]. 2014 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <http://www.dailycadcam.com/siemens-plm-software-releases-tecnomatix-12/>.
- [6] KRIŠŤÁK, Jozef. *MTM - Methods Time Measurement* [online]. Český Těšín: IPA Czech s.r.o., 2012 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/mtm-methods-time-measurement>.
- [7] KRIŠŤÁK, Jozef. *MOST - Maynard Operation Sequence Technique* [online]. Český Těšín: IPA Czech s.r.o., 2012 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/most-maynard-operation-sequence-technique>.
- [8] ČERNOHORSKÝ, Josef. *Výukové materiály předmětu Základy robotiky*.
- [9] *Kartézský robot Lexium* [online]. 2011-2019 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/energetika/linearni-pohony-lexium-dokonal-a-symbioza-rychlosti-presnosti-robustnosti-a-variability>.
- [10] *SCARA robot společnosti FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtro-robot%C5%AF/scara-series/scara-sr-3ia>.
- [11] *Angulární roboti KUKA* [online]. Augsburg: KUKA AG, 2019 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty>.

- [12] *Delta robot* [online] [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/30265-2663657.jpg.
- [13] *KUKA AG* [online]. Augsburg: KUKA AG, 2018 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>.
- [14] *ABB Group* [online] [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://new.abb.com/>.
- [15] *FANUC: The Factory Automation Company* [online]. Praha: FANUC Czech, 2018 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>.
- [16] *Mitsubishi Electric* [online] [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://cz3a.mitsubishielectric.com/fa/cs/>.
- [17] *Yaskawa Europe GmbH* [online]. Eschborn: Yaskawa Europe GmbH, 2019 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.yaskawa.eu.com/>.
- [18] *Stäubli: Průmyslová automatizace v oblasti konektorů, robotiky a textilního strojírenství* [online]. Pfäffikon: Stäubli, 2017 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/cs-cz/>.
- [19] *Fotografie montáže v hale M13* [online]. Olomouc: VisionLabs - Počítačová služba s.r.o., 2018 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://archiv.hkol.cz/clanky/akce/10/exkurze-do-vyrobnih-zavodu-a-muzea-spolecnosti-skoda-auto-as.html%5C#prettyPhoto/0/>.
- [20] *Robot KR 30 JET na portálové konstrukci s pojezdem* [online]. Augsburg: KUKA AG, 2018 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-30-jet>.
- [21] *Robot FANUC M-710iC/70* [online]. Praha: FANUC Czech, 2018 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-710/m-710ic-70>.